



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Diretrizes para avaliação de danos ocasionados por fogo em Obras de Arte Especiais - Estudo de caso

Rodrigo Pereira¹, Vitor Araújo Martins², Caroline Pedrosa Alves³, Elisa Guimarães Pereira⁴, Pedro Henrique Lucena⁵, Myrelle Yasmine de Freitas Câmara⁶

¹ Strata Engenharia LTDA. / rodrigoestruturas@gmail.com

² Strata Engenharia LTDA. / vitoraraujomartins@outlook.com

³ Strata Engenharia LTDA. / caroline.pedrosaalves@gmail.com

⁴ Strata Engenharia LTDA. / elisagpereira@hotmail.com

⁵ Strata Engenharia LTDA. / pedrohenri_que@outlook.com

⁶ Strata Engenharia LTDA. / myrelleyasmine@hotmail.com

Resumo

A história tem mostrado que estruturas de concreto possuem uma excelente resistência ao fogo, mantendo sua integridade até mesmo em eventos sucessivos de incêndio. Graças a sua baixa condutividade térmica e alto calor específico, o concreto se torna seguro, mas anomalias ocasionadas pelo processo de degradação devido ao fogo podem ser significativas e devem ser estudadas. Em especial, pontes e viadutos que estão localizados dentro de perímetros urbanos são essencialmente suscetíveis a esses tipos de problema com mais frequência. Este trabalho tem como objetivo prover informações acerca dos principais sinais de manifestações patológicas em concreto de Obras de Arte Especiais (OAEs) causadas por fogo, incluindo uma revisão bibliográfica sobre os métodos de inspeções e avaliação, com base em um estudo de caso na cidade de Belo Horizonte-MG.

Palavras-chave

Obras de Arte Especiais, dano por fogo, inspeção, concreto, manifestação patológica.

1 Introdução

O presente artigo tem como objetivo determinar as principais manifestações patológicas que ocorrem no concreto devido à ação de fogo. Apesar de ser um material que mantém suas características de resistência durante a elevação de temperatura, o concreto pode apresentar danos com a recorrência ou exposição prolongada à temperatura elevada.

A Obra de Arte Especial (OAE) pode estar exposta ao fogo pela ocorrência de incêndio em algum veículo que trafega sobre sua via superior ou pela passagem inferior, no caso de viadutos. Outra forma de ação do fogo é a queima de resíduos ou o uso de fogueiras por parte de pessoas que se abrigam nas regiões cobertas da Obra de Arte Especial, afetando, nesse caso, sua parte inferior, geralmente nas proximidades dos encontros e apoios. Com a ação do fogo nos elementos de concreto, sua estrutura tende a sofrer alterações químicas, que por sua vez geram alterações físicas na estrutura como deslocamento, fissuração e lascamento (ou escamação). Esses danos podem ser fatais para a estrutura, a depender de sua extensão e gravidade. Em geral, a gravidade dos danos causados na estrutura varia de acordo com a temperatura máxima alcançada e tempo de exposição do fogo. As respostas do concreto podem variar em função dos agregados e compostos cimentícios, por isso a importância de se conhecer os materiais utilizados.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar as manifestações patológicas devido à ação do fogo em duas Obras de Arte Especiais, localizadas no Município de Belo Horizonte, em Minas Gerais, realizando o diagnóstico dos elementos estruturais de acordo com as revisões bibliográficas.

2 Desenvolvimento

2.1 Definições normativas

É de fundamental importância que, na fase de concepção das Obras de Arte Especiais, o projetista se preocupe em dimensionar uma estrutura capaz de suportar a ação do fogo e, conseqüentemente, as suas altas temperaturas. Dito isto, o universo de normas técnicas que envolvem a construção civil dedica algumas de suas publicações para estabelecer exigências e parâmetros a serem atendidos.

Entretanto, apenas em 1975 um documento normativo acerca do tema foi desenvolvido e publicado. Trata-se da ISO-834 (ISO, 1975), que à época foi criada para padronizar os ensaios das estruturas de aço e concreto em situações de incêndio (Munhoz et al., 2018).

A Norma NBR 14432 (ABNT, 2001) - “Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento” tem como principal objetivo estabelecer critérios mínimos para que as edificações não sofram colapso estrutural em uma situação de incêndio e destaca que os elementos de compartimentação devem possibilitar a segurança dos usuários, em caso de necessidade de fuga, e a redução dos danos à infraestrutura pública. Embora o documento não aborde especificamente a situação em OAEs, pode-se desenvolver uma analogia entre estas e as edificações.

De forma semelhante a edifícios, as pontes e viadutos devem ser projetados para resistir a situações de incêndio, de forma que os seus elementos estruturais não sejam comprometidos e que os usuários que se encontram em sua parte superior ou inferior tenham condições de evacuação, conforme sinaliza a NBR 15200 (ABNT, 2012) - “Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Procedimento”, que é válida para qualquer estrutura de concreto projetada conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014) e a NBR 9062 (ABNT, 2017). Os princípios básicos da norma são reduzir os riscos dos usuários e vizinhança, assim como das próprias estruturas. O documento também fornece a relação da alteração das propriedades de resistência e rigidez para concretos executados predominantemente com agregados silicosos e calcários, em função da temperatura do material θ . De forma similar, a norma também apresenta os valores referentes à alteração das propriedades de resistência ao escoamento e rigidez do aço para armaduras passivas e ativas, em função da temperatura.

NBR 15200 (ABNT, 2012) explica que a distribuição de temperatura para uma peça estrutural em uma situação de incêndio implica na redução da resistência dos materiais e, portanto, dos elementos estruturais. Além disso, essa variação térmica também gera alongamentos axiais que resultam em novos esforços solicitantes. Em outras palavras, ocorre queda da resistência e do módulo de elasticidade da estrutura, colocando-a em risco de colapso parcial ou total (COSTA; SILVA, 2006). Embora nenhuma dessas normas técnicas trate especificamente de OAEs, é válido adotar tais conceitos e determinações, uma vez que a preocupação com a segurança dos usuários e com o patrimônio público é o mesmo. Por outro lado, é importante destacar que uma abordagem mais específica e aprofundada por parte dos órgãos reguladores competentes resultaria em um grande ganho à comunidade técnica e científica.

2.2 Manifestações patológicas

2.2.1 Danos na macroestrutura do concreto

Diferentes elementos estruturais apresentam diferentes respostas ao fogo. Segundo Gomide (2005, apud VESPASIANO, 2016), pilares em situação de incêndio apresentam deslocamento de concreto com exposição das armaduras; vigas sofrem de fissuração intensa devido a esforços de flexão e cisalhamento causados pela retração/dilatação do concreto e do aço.

Nas lajes ocorre o efeito de spalling, (lascamento ou escamação) do cobrimento. Vale ressaltar que Obras de Artes Especiais estão sensivelmente susceptíveis a acidentes rodoviários que, invariavelmente, impactam o



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

concreto. Este é um acontecimento recorrente nas estradas brasileiras e que deve ser levado em conta, já que diversas ações a posteriori podem comprometer ainda mais a integridade dos elementos estruturais expostos, como o lançamento de água para conter a propagação do fogo, que leva a esforços solicitantes não previstos devido ao resfriamento e contração abruptos do concreto.

Ainda, manifestações patológicas preexistentes como: degradação do concreto devido ação biológica, zonas de segregação, juntas de concretagem, insuficiência de cobrimento da armadura, fissuras, podem potencializar o dano gerado no concreto armado. Isto porque, nessas regiões, os danos se espalham mais rapidamente e mais profundamente, afetando a matriz cimentícia e as regiões mais internas do elemento estrutural.

Segundo Purkiss (apud COSTA et al. (2002)), os danos aos elementos de concreto armado apresentam-se de duas formas principais: a delaminação gradual, que corresponde ao desprendimento de parte da camada externa de concreto, expondo as camadas mais internas também ao fogo, num processo cíclico, até o atingimento e comprometimento das armaduras; e o lascamento explosivo, que indica o fenômeno de desprendimento de grandes porções de material de forma abrupta, logo após o início da exposição ao fogo.

Delaminação gradual progressiva (ou Sloughing Off): é causada pela perda de resistência devido às fissuras internas e deterioração química da pasta de cimento. Se o concreto for aquecido a uma temperatura muito alta, a resistência será muito baixa para suportar seu próprio peso, fazendo com que pequenas porções de concreto caiam. Registra-se que ocorrem com frequência em lajes e nas vigas aquecidas por baixo, agravando os processos de degradação do concreto. Outro fator que pode agir como potencializador junto a esse processo é a movimentação gerada pela atuação de cargas móveis na estrutura.

Na literatura, diversas propostas surgem para categorizar algumas variações do lascamento (Figura 1), como as definidas por Malesev e Radonjanin (2017):

- Lascamento (ou escamação) de agregado (Aggregate spalling): é causado pelo rompimento do agregado da matriz cimentícia próximo à superfície do concreto, provocando o desprendimento de pequenas porções. Este tipo de lascamento não produz perda de resistência do concreto, somete danos superficiais.
- Lascamento (ou escamação) de canto (Corner Spalling): esse tipo de fragmentação, ocorre quando o concreto se quebra ou se rompe entorno da armadura. O aquecimento não homogêneo do concreto leva a uma deformação do material ao redor da armadura uniformemente aquecida. Essa diferença na deformação causa tensões no concreto, levando a fissuras e rupturas. Este fenômeno ocorre especialmente em estruturas com seção transversal quadrada.
- Lascamento (ou escamação) explosivo (Explosive Spalling): é o resultado de uma combinação de crescentes pressões dos poros e gradientes térmicos na seção transversal. Na frente da penetração do calor, uma “obstrução de umidade” (área com alta pressão dos poros) se desenvolve dentro do concreto.
- Lascamento (ou escamação) pós-resfriamento (Post-Cooling Spalling): a fragmentação ocorre após o incêndio, após o resfriamento ou mesmo durante a extinção (KHOURY, 2003). Este tipo de fragmentação foi observado em tipos de concreto contendo agregado calcário. Uma explicação é a reidratação do óxido de cálcio (CaO) para hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) após o resfriamento, com expansão superior a 40%. Quando a umidade está novamente presente na superfície de concreto. A expansão devido à reidratação causa fissuras internas e, portanto, perda da resistência do concreto. Porções de concreto continuam caindo enquanto houver água para reidratar o CaO na zona desidratada.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Figura 1 – Exemplos de Corner spalling, e sloughing off e aggregate spalling (MALESEV, RADONJANIN (1999), adaptado).

No geral, a diminuição na resistência à compressão do concreto é pequena até temperaturas de no máximo 500°C. No entanto, para valores entre 500°C e 600°C, de um ponto de vista prático, o concreto pode ser considerado destruído (KOWALSKI, 2010, apud WRÓBLEWSKA, KOWALSKI, 2020). Vale ressaltar que há uma variação considerável entre concretos comuns e concretos de alta-resistência. O tipo de agregado pode também influenciar a curva resistência/temperatura, de forma que, em agregados com sílica em sua composição, a perda de resistência é menor do que em agregados calcários, como observado acima.

Em uma análise numérica desenvolvida pela National Cooperative Highway Research Program utilizando o software Fire Dynamics Simulations (FDS), levou-se em conta a exposição da ponte Birmingham Alabama (Figura 2), ocorrida no dia 5 de janeiro de 2002, quando um caminhão colidiu com a defesa metálica ao tentar evitar um acidente logo à frente na Rodovia I-65. Na simulação, considerou-se que a estrutura estaria submetida a uma temperatura constante, que representaria a situação de incêndio de veículos de diferentes portes.

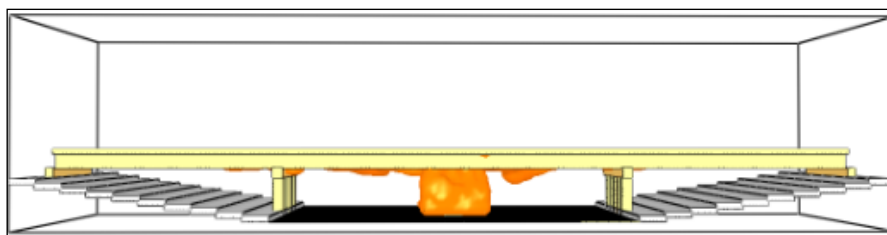


Figura 2 – ponte Birmingham Alabama. (WRIGHT (2013))

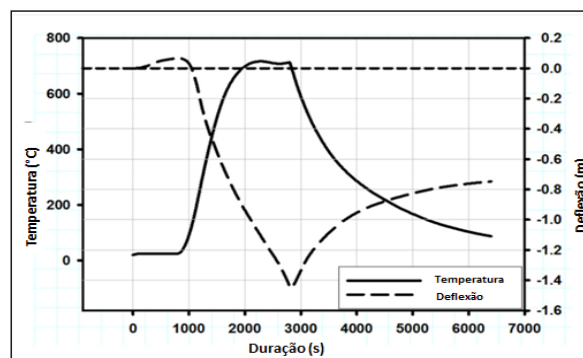


Figura 3 – Deflexão devido à temperatura ao longo do tempo. (WRIGHT et al. (2013))



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

A Figura 3 mostra os resultados da modelagem utilizando o FDS para uma ponte simples com um tanque cheio de gasolina sob a ponte e no centro do vão. A duração do fogo foi de cerca de 45 minutos, conforme determinado pelo tempo necessário para esgotar o combustível. A temperatura máxima do aço no flange inferior da viga de temperatura mais alta estabilizou em cerca de 700 °C e permaneceu nessa temperatura por cerca de 15 minutos (WRIGHT et al., 2013).

2.2.2 Métodos de inspeções

Devido ao bom comportamento do concreto quando colocado à frente de situações de incêndio com altas temperaturas, ao submeter-se a detalhada inspeção baseada na norma NBR 15200 (ABNT, 2012), grande parcela das obras atingidas pelo fogo são aprovadas para reutilização após intervenções de recuperação, verificação da capacidade de resistência e possível reforço, sendo recomendados pelos autores deste artigo os ensaios de capacidade de carga.

As técnicas mais utilizadas para essas investigações englobam inspeção visual, ensaios não-destrutivos, semi-destrutivos e avaliação estrutural (Figura 4). Devido à ausência de normas nacionais que estabeleçam resultados para os testes de inspeção de obras danificadas por fogo, em concordância com o cenário global, o foco dos experimentos é a estabilidade das estruturas.

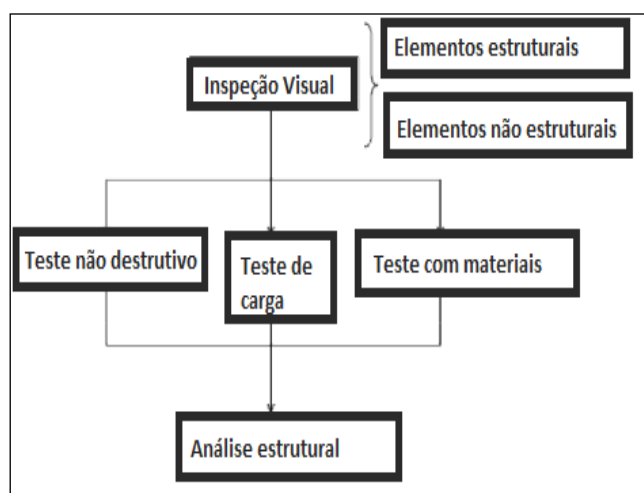


Figura 4 - Esquema ilustrativo de inspeções em construções com manifestações patológicas por fogo. (WRIGHT et al. (2013), adaptado)

2.2.3 Inspeção Visual

A inspeção pós-incêndio, segundo Wright et al. (2013), deve começar com mapeamento geral da área atingida para identificação de zonas com danos potenciais de calor. Tais regiões apresentam ampla evidência visual com pintura desgastada, fuligem, descoloração e fragmentação do concreto. Rachaduras em áreas de tensão no concreto fornecem fortes indícios da perda de resistência do material. Os casos mais graves podem apresentar deflexão estrutural vertical. A Figura 5 abaixo apresenta uma laje com ocorrência de fissuras e acúmulo de fuligem.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

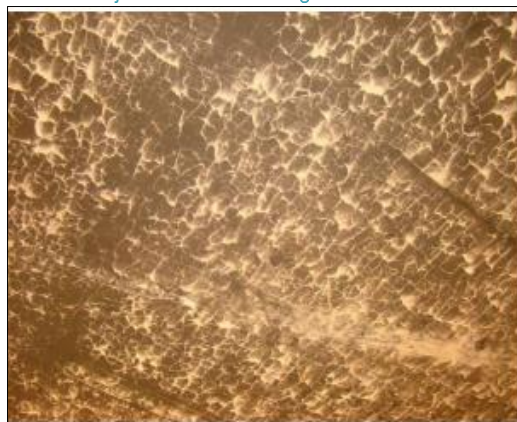


Figura 5 – Acúmulo de fuligem em área fissurada de estrutura incendiada (SOLLERO; SANTOS (2013)).

O mapa de danos deve relacionar a altura das chamas e sua propagação durante a queima da estrutura.

Tabela 1 - Relação entre temperatura do incêndio com possíveis manifestações patológicas no concreto (SOLLERO; SANTOS (2013), adaptado).

Temperatura do concreto (°C)	Cor	Aparência	Condição
$T < 300$	Normal	Normal	Normal
$300 \leq T < 600$	Rosa e vermelho	Fissuras, rachaduras e porções desagregadas	Seguro, mas a resistência pode estar reduzida
$600 \leq T < 950$	Tons de cinza e branco	Spalling, armadura de aço exposta, fuligem	Fraco
$T \geq 950$	Amarelado	<i>Spalling</i> Explosivo	Extremo

De acordo com Wright et al. (2013), uma simples inspeção visual pode apontar variações na cor do concreto, que como dito acima, são fortes indícios patológicos (Tabela 1). A presença de rachadura são geralmente acompanhadas de deflexão vertical.

O Report ME 62 (2013, apud SOLLERO; SANTOS, 2013), destaca os danos ao concreto causados por incêndios e os divide em 4 categorias de acordo com a evolução das manifestações patológicas e a redução da estabilidade da estrutura.

2.2.4 Ensaios não destrutivos e semi-destrutivos

Atualmente existem diversos métodos a serem realizados em ensaios não destrutivos e semi-destrutivos, podendo sua utilização variar de acordo com recursos financeiros, equipamentos e detalhamento da estrutura. O ensaio de ultrassom (Tabela 2) utiliza a velocidade de propagação da onda como instrumento de medida. Os resultados são analisados à medida que se espera que a velocidade da onda seja menor nas regiões mais danificadas.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 2 - Classificação da qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda ultrassônica. (WHITEHURST, 1951, SOEIRO et al., 2018).

Velocidade da onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto
$V < 4500$	Excelente
$3500 < T < 4500$	Ótimo
$3000 \leq T < 3500$	Bom
$V < 2000$	Ruim

2.2.5 Ensaio destrutivo/Avaliação estrutural

De acordo com Wright et al. (2013), em caso de suspeita de perda de resistência do concreto, o teste destrutivo é uma excelente opção para quantificar as alterações no material. Geralmente feito com corpos de prova cilíndricos retirados do local, realiza-se testes de compressão padrão para determinar se o concreto atinge a capacidade de resistência necessária. Mesmo com ligeira redução da capacidade em relação à resistência pré-fogo, o concreto em muitos casos ainda atende aos requisitos de projeto.

A análise, considerando os esforços solicitantes e a real capacidade de resistência da estrutura, irá apresentar necessidade ou não de reforçar a construção.

3 Estudo de caso

A fim de exemplificar e ilustrar os estudos feitos sobre as consequências decorrentes de incêndios em Obras de Artes Especiais, o presente tópico apresenta um estudo de caso de dois viadutos nos quais é possível identificar e analisar manifestações patológicas causadas por fogo. É importante dizer que informações como origem do fogo, por quanto tempo o concreto esteve em contato com chamas, altura máxima que estas atingiram ou a temperatura máxima alcançada, são desconhecidas. Desse modo, a seguinte análise das obras e de seus elementos atingidos trata-se de uma inspeção visual. Os viadutos em questão estão localizados na interseção entre a Avenida Amazonas e a Avenida Silva Lobo, próximo à região central de Belo Horizonte.

Os registros fotográficos dos viadutos (Figuras 6 e 7) apontam intenso acúmulo de fuligem, principalmente na parte inferior da estrutura. Em análise visual da colorimetria do concreto, percebe-se variações de cores cinza com tons esbranquiçados. De acordo com os estudos realizados, tal mudança de cor geralmente é associada ao fenômeno Spalling (lascamento, ou escamação, do cobrimento) e exposição da armadura de aço.

Desse modo, tomando como base a classificação de Malesev e Radonjanin (2017) para variações de lascamento ou escamação no concreto devido a incêndios, a análise das fotografias sugere o “Lascamento explosivo”.

A contenção em terra armada é um tipo de aterro reforçado que se utiliza de técnicas que incorporam materiais com alta resistência à tração com o objetivo de impedir deformações no maciço provenientes das solicitações de trabalho (ABNT, 2016). No estudo de caso, o sistema foi executado com painéis pré-moldados em um sistema de paramento duplo com espessura de 8,0 cm. Pode-se observar pela Figura 8 que já há perda de seção das placas, contribuindo para deformação nas camadas inferiores do muro.

De acordo com o Report ME 62 (2013, apud SOLLERO; SANTOS, 2013) e sua tabela que divide a evolução das manifestações patológicas em níveis de comprometimento da estrutura, já mencionada em tópicos anteriores, o acúmulo de fuligem (classe 1), deslocamento superficial (classe 2), concreto desagregado com armadura exposta e leve laminação (classe 3). A união de todas as manifestações patológicas apresentadas agrega a estrutura em questão a nota 3.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Figura 6 - Acúmulo de fuligem na parte inferior do viaduto (Autores)



Figura 7 - Fenômeno Spalling e exposição da armadura de aço (Autores)



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Foto I



Foto J

Figura 8 - Contenção em terra armada danificada (Autores).

4 Conclusão

Apesar de ser considerado um material não combustível e de boa resistência à ação do fogo, o concreto sofre sequelas, com a ocorrência de incêndios. Os danos que o material sofre com o aumento da temperatura variam de pintura desgastada até deflexão vertical, indicando a perda de resistência. Esses sintomas podem ainda ser potencializados por danos preexistentes nos elementos, que podem se tornar fatais para a estrutura, a depender de sua extensão e gravidade.

No Brasil, há uma situação precária de moradia na maioria das capitais e das grandes cidades. O número de pessoas que se instalam em locais impróprios, como sob um viaduto, continua a crescer. Esse é um problema social que está diretamente relacionado à exposição de Obras de Arte Especiais ao fogo. Dessa forma é necessário que sejam tomadas medidas no sentido de reduzir a população em situação de rua, visto que medidas paliativas, como instalação de pedras sob tais estruturas não atinge a causa real do problema e tampouco é efetiva.

A solução que trata a raiz do problema, investindo em políticas públicas, diminuindo a desigualdade social e condicionando abrigo para todos, não deve ser vista como gasto, mas como investimento, uma vez que a redução dos custos com manutenção e reparo de obras públicas devem entrar na equação, além de outras diversas variáveis como a economia com tratamentos no Sistema Único de Saúde (SUS), entre outros.

Mesmo com a situação de incêndios em viadutos sendo recorrente nas grandes cidades do país, ainda não existe uma norma aprofundada que trate do tema, especificamente para Obras de Arte Especiais. Essa abordagem se faz necessária, sendo este um tópico atual e relevante, que representaria ganhos à comunidade técnica, científica e à sociedade como um todo.

4 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 19286: Muros em solos mecanicamente estabilizados – especificação. Rio de Janeiro: 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS

7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- COSTA, C.N; SILVA, V. P. Diretrizes da nova norma brasileira NBR 15200:2004 para projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – uma análise comparativa com a NBR 6118:2003. Revista IBRACON de Estruturas, [S. l.], v. 2, ed. 1, p. 1-30, 2006.
- COSTA, C.N.; FIGUEIREDO, A.D.; SILVA, V.P. O fenômeno do lascamento (“spalling”) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 44., 2002, Belo Horizonte, [Anais]. Belo Horizonte: IBRACON, 2002. p. 1-15.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction – Part 1.1: General Requirements for Fire Resistance Testing. ISO 834. Geneva: ISO/TC, 1975.
- KHOURY, G.; MAJORANA, C. Effect of Heat on Concrete. 1st. ed. [S. l.]: CRC Press, 2020. ISBN 978-0415401746.
- KIRCHHOF, L. D. Estudo teórico-experimental da Influência do teor de umidade no fenômeno de *spalling* explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas. 237 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- MUNHOZ, G. S., et al. Análise da ABNT NBR:15200:2012 para um edifício de 40 pavimentos em situação de incêndio estrutural. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 60., 2018, Foz do Iguaçu, [Anais]. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018. p. 1-16.
- RADONJANIN, V.; MALESEV, M. Fire damages of reinforced concrete structures and repair possibilities. In: International Conference on Construction Materials for Sustainable Future, 1., 2017, Zadar, [Proceedings]. Zadar: University of Zagreb, 2017. p. 1-18.
- SILVA, V. P. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Proposta de revisão da NBR 15200:2004. Notas de Aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- SOEIRO, J. M; COSTA, S. S; SILVA, A. P. Ensaio não destrutivo - Ensaio de ultrassom e pacômetro na avaliação da qualidade do concreto armado. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 76., 2018, Maceió, [Anais]. Maceió: CONTECC, 2018. p. 1-5.
- SOLLERO, M. B.; SANTOS, R. T. Inspeção e Análise de estruturas incendiadas. In: Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, 13., 2015, Porto de Galinhas, [Anais]. Porto de Galinhas: ABENDI, 2015. p. 1-23.
- VESPASIANO, A. B. Estruturas de concreto armado em situação de incêndio: estudo de caso. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2016.
- WRIGHT W., et al. Highway Bridge Fire Hazard Assessment Draft Guide Specification for Fire Damage Evaluation in Steel Bridges. Virginia Polytechnic Institute and State University n. 1, 2013.
- WRÓBLEWSKA, J.; KOWALSKI, R. Assessing concrete strength in fire-damaged structures. Construction and Building Materials. [S.l.], v. 254, p. 1-9, set. 2020.